# 土壤侵蚀：从综合治理到生态调控

史志华[1,2*]　王　玲[1]　刘前进[3]　张含玉[3]　黄　萱[1]　方怒放[2]

1 华中农业大学 资源与环境学院 武汉 430070

2 中国科学院水利部水土保持研究所 杨凌 712100

3 临沂大学 资源与环境学院 临沂 276000

**摘要**　我国土壤侵蚀类型多样、侵蚀过程复杂，相应的水土保持措施丰富。文章对国内外土壤侵蚀及其阻控研究进行了分析，总结了我国复杂环境下土壤侵蚀理论和实践的研究成果；回顾了我国土壤侵蚀防治由优化坡面措施，到小流域综合整治，再到区域生态经济协同发展与优化布局的演变历程。在此基础上，提出了现阶段治理重心应从遏制面积扩张转向生态功能提升为主，治理手段应从综合治理转向生态调控，变对抗为利用，变控制为调节，寻求土壤侵蚀防治与农业高效生产和环境可持续发展的协同途径，以期为国家生态文明建设提供科学依据。

**关键词**　土壤侵蚀，水土保持，生态文明建设

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.2018.02.010

土壤侵蚀是土壤及其母质在外营力作用下，被破坏、分离、搬运和沉积的过程[1]。土壤侵蚀不仅导致土壤退化、土地生产力降低，影响农业生产和粮食安全，且随径流泥沙迁移的污染物质对侵蚀区的相邻地区生态环境和社会经济发展也带来严重影响，造成侵蚀下游地区水体富营养化、动植物生境破坏、旱涝灾害加剧等。同时，侵蚀泥沙的搬运使土壤碳、氮、磷的含量与组分产生变化，进而影响全球生源要素循环，乃至成为重要的全球气候变化驱动要素之一[2]。因此，防治土壤侵蚀与改善生态环境已成为全球普遍关注的重大环境问题和人类生存发展的重要问题。水土保持指对自然因素和人为活动造成土壤侵蚀所采取的预防和治理措施，是防治土壤侵蚀，保护与合理利用山地丘陵区和风沙区水土资源、维护和提高土地生产力，以利于充分发挥水土资源的经济与社会效益，建立良好生态环境的综合性科学技术[3]。在当今生态安全已纳入国家安全体系的新形势下，土壤侵蚀防治或水土保持作为生态安全建设的重要内容，必须以全球视野、长远眼光、系统思维看待土壤侵蚀问题，切实保护水土资源，缓解生态安全威胁，促进社会经济可持续发展。本文总结分析了土壤侵蚀及其阻控研

*通讯作者

资助项目：国家重点研发计划项目（2017YFC0505406）
修改稿收到日期：2018年1月23日

究进展，并针对我国土壤侵蚀情况提出亟待深入研究的科学问题，可为政府管理部门制定土壤侵蚀治理策略、实施科学综合决策提供支持，推动践行“绿水青山就是金山银山”的理念。

## 1 土壤侵蚀及其阻控研究进展

我国对土壤侵蚀的防治可追溯到数千年前，当时围绕农业生产初步孕育了治山治水的理念，经过长期的探索与实践，发展了系列土壤侵蚀阻控技术。15 世纪以来，欧洲各国围绕因滥伐引起的山地荒废，陆续开展了以防治山洪、泥石流、滑坡等自然灾害为主的水土保持工作，总结出一套综合的防治荒溪流域水土流失的森林工程措施体系。尽管土壤侵蚀防治历史悠久，但土壤侵蚀的理论研究普遍滞后于水土保持实践，其研究历程可分为 3 个阶段：第一阶段主要是对侵蚀现象的描述和相关影响因子试验，初步辨识了影响侵蚀的关键因素，建立了因素与侵蚀之间的简单定量关系；第二阶段的研究主要关注土壤侵蚀过程和侵蚀预报模型的建立，对侵蚀过程及其机理深入剖析并开发建立了一系列土壤侵蚀模型；第三阶段的发展建立在认识土壤侵蚀过程与机理的基础上，采取了诸多有效的水土保持措施，并取得了显著的成果[4,5]。

### 1.1 土壤侵蚀机理方面

土壤侵蚀过程有其发生的特征尺度和研究尺度。坡面是侵蚀发生的基本单元，而流域是侵蚀产沙相对独立的系统，因此，坡面和流域是揭示土壤侵蚀本质与侵蚀阻控的两个重要尺度。土壤侵蚀过程在两个尺度上的表现形式与发生发展机理不同，但它们相伴而生、相互作用。

坡面尺度上，Ellison[6]将侵蚀过程分为 4 个子过程：雨滴侵蚀过程、径流侵蚀过程、雨滴搬运过程和径流搬运过程。基于 4 个侵蚀子过程，提出了输沙量受产沙量和输沙能力的制约，细沟间侵蚀以降雨侵蚀为主、细沟侵蚀以径流侵蚀为主的侵蚀概念模型[7]，并成为 WEPP 模型的物理基础[8]。Rose 等[9]将坡面侵蚀过程分为降雨分离、径流分离与搬运、泥沙沉积 3 个过程，认为坡面侵蚀和沉积过程以不同的速率同时同地连续发生，当侵蚀速率大于沉积速率时，坡面以侵蚀过程为主，相反，则以沉积过程为主。目前在坡面薄层水流水动力学特性与泥沙搬运、侵蚀形态转变发生的临界条件、水流剥蚀率与挟沙能力、雨滴打击与径流冲刷耦合机理等方面的研究取得长足进步[10-12]。

流域尺度上，系统研究了气候（如降雨、温度等）、流域下垫面特征（如流域大小、土地利用/覆被、地形地貌等）和人类活动（如耕作、放牧等）等因子及其相互作用对土壤侵蚀-输移-堆积过程的影响，并在不同时空尺度上进行了定量化表达[13-16]。目前，基本辨识了不同尺度上影响土壤侵蚀的关键因子，初步揭示了侵蚀产沙机理，为发展侵蚀模拟与揭示水土保持措施防治机理奠定基础[17]。

### 1.2 模型模拟方面

土壤侵蚀预报模型是研究侵蚀过程与环境因子耦合机制的有效手段，克服了观测实验在数据获取性、重复性、连续性等方面的缺陷，并可有效揭示内在机制、发现研究薄弱环节[18]。20 世纪 60 年代以来，国内外土壤侵蚀预报模型研究成果丰富。以通用土壤流失方程（Universal Soil Loss Equation，USLE）[19]为核心的一系列经验模型相继建立，迄今为止，世界各地仍有许多研究关注模型因子在不同地区的修正和应用。Liu等[20]针对中国的实际情况，将 USLE 中的覆盖与管理因子变为生物、工程和耕作三大水土保持措施因子，建立了适用于中国的土壤流失方程（Chinese Soil Loss Equation，CLSE）。随着对土壤侵蚀机理认识的深入，以侵蚀产沙过程为基础的物理模型相继问世，其中以 EPIC[21]，WEPP[22]和 SWAT[23]等模型最具代表性。物理过程模型综合考虑多种影响因子、注重水沙汇流过程，采用流域泥沙输移比模型，或水流挟沙力公式、泥沙连续方程等计算流域侵蚀产沙量[24,25]。模型的建立与应用，整合了

众多的侵蚀影响因子，是在土壤侵蚀机理认识基础上的深化，极大推进了土壤侵蚀预报的发展，为土壤侵蚀防治、水土保持规划及效益评价提供了科学依据。

### 1.3 土壤侵蚀阻控方面

由于各国所处的自然环境及社会经济状况不同，土壤侵蚀防治措施各具特点。

美国的人地矛盾相对缓和，多以小于10º缓坡地利用为主，建立了以少耕、免耕、残茬覆盖等耕作措施为主的防治技术体系；同时为适应农业大型机具应用，对原有梯田、地埂、渠道等水土保持设施进行改造，从流失地块的治理向以流域治理为中心过渡，实现整体改善农村、城市及各种工程建设的生态环境[26]。

欧洲各国水土保持注重生态系统的完整性，水土保持措施以生态恢复为主导，重视植被重建和河道整治，形成了完善的流域管理体制，并将生态治理与产业开发（如葡萄及其葡萄酒产业）有机结合，成为生态治理与资源高效利用的典范[27]。我国人地矛盾尖锐，陡坡地广泛开垦利用，高强度人类活动导致景观破碎复杂，经过长期的探索与实践，研发了休耕、坡改梯、土地利用优化等土壤侵蚀阻控关键技术，充分发挥了水土保持的保水保肥、减蚀减沙效益，并实现与社会、经济的协调可持续发展[28]。

## 2 中国土壤侵蚀研究特色与治理演变

### 2.1 中国土壤侵蚀研究特色及治理成效

我国坡耕地占耕地面积的1/5，其中坡度大于15°的占46%；陡坡地大量开垦以及高强度人类活动，把流域变成了由不同斑块镶嵌的破碎景观。因此，在坡面尺度上重点开展陡坡侵蚀过程机理研究，探讨泥沙分选搬运机制，高含沙量水流的水动力学特性，以及特殊的浅沟侵蚀机理等问题；在流域尺度上重点研究了异质景观流域侵蚀产沙对环境因子的响应，以及景观单元间水沙汇集与输移过程规律[17]。在丰富的理论研究基础上，构建陡坡侵蚀机理方程和适用于复杂景观流域的泥沙输移比模型。同时，我国复杂侵蚀环境决定了水土保持措施的多样性。因此，在耕作、生物、工程等措施的防蚀机理和适宜性研究基础上，凝练出了东北黑土区、西北黄土区、西南紫色土区等水蚀区的土壤侵蚀综合治理范式[4]。与世界研究水平相比，我国在土壤侵蚀分类和分区、流域泥沙来源界定、小流域综合治理等方面的研究已并跑或领跑世界先进水平；在土壤侵蚀过程与机制、侵蚀预报模型、土壤侵蚀环境效应评价、水土保持生态服务功能等方面的研究仍有一定差距。

新中国成立以来，全国累计治理土壤侵蚀面积101.6万平方公里，已有的水土保持措施每年可保持土壤15亿吨，增加蓄水能力250多亿立方米，增加粮食180亿公斤[29]。我国1986、1996、2002和2010年先后开展了四次全国土壤侵蚀遥感普查，土壤水蚀面积呈逐年下降趋势，土壤风蚀面积呈先增加后减少趋势，到2010年水蚀和风蚀面积均大幅减少。1986—2010年全国土壤侵蚀面积下降了约1/5，由367万平方公里下降至295万平方公里，这与我国开展的大规模生态治理工程密切相关。水土保持工作的开展使1.5亿群众直接受益，解决了2 000多万山区群众的生计问题。同时，全国水土保持监测网络和信息系统初步建成，包括水利部水土保持监测中心及7个流域中心站、29个省级总站和151个分站，可实时监测全国、大流域和省区的水土保持动态。我国土壤侵蚀治理成效显著，整体好转，但仍伴随局部恶化的现象存在，土壤侵蚀防治依旧是生态文明建设的重要内容。

### 2.2 中国土壤侵蚀治理演变

我国土壤侵蚀治理通过借鉴国外相关研究并结合自身情况，不断发展和创新治理理念与技术模式。经历了单一治理、综合整治、可持续发展、生态文明建设等治理理念的转变，这些观念的转变使治理的关注焦点发生了系列变化。从关注生产和经济到重视生态系统效益，从治理为主到预防为主，从强调现状治理到关注可持续发展，从生态治理上升到生态文明建设。理念的转变也

促使治理措施经历了从坡面土壤侵蚀治理到小流域综合治理，再到区域生态经济协同发展与优化布局。从强调单一技术到综合技术集成，从植被覆盖率增加向结构改善和功能提升，从流域治理到生态景观优化配置，并注重资源—经济—社会的空间分异及其功能分区。我国土壤侵蚀治理的发展历程与关键措施概括如下（图1）：

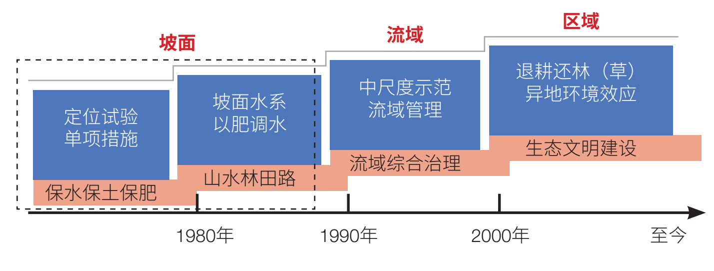



图1　中国土壤侵蚀治理演变历程

（1）坡面治理（20世纪20年代—80年代）。坡面是土壤侵蚀发生的基本单元。坡面土壤水蚀阻控技术可归结为土壤流失方程中土壤可蚀性、坡长、坡度、降雨侵蚀力、植被与作物管理、水土保持措施等因子的调整。形成了由旱作保墒、少耕免耕、等高耕作、垄作轮作、间作套作、砾石覆盖、秸秆还田等技术组成的水土保持农业技术体系；由梯田修筑、梯壁整治、地埂利用、地力恢复等技术构成的坡耕地综合整治技术体系；由拦水沟埂等坡面雨水集蓄、山坡截流沟等坡面径流排引、坡面水系优化布局等技术集成的坡面径流调控技术体系；由植被覆盖、作物残差覆盖、生物结皮与耕作措施等相结合的土壤风蚀防治体系。

（2）流域综合治理（20世纪80年代—21世纪初）。流域作为水循环相对独立的自然单元，是土壤侵蚀防控的基本单元。这一阶段，土壤侵蚀治理的核心可归纳为对流域侵蚀—输移—产沙过程中关键环节的阻控。针对我国侵蚀最严重的黄土高原，朱显谟院士[30]提出了28字治理方略：“全部降水就地入渗拦蓄；米粮下川上塬，林果下沟上岔，草灌上坡下坬”。在流域尺度上，土壤侵蚀治理形成了由集雨抗旱造林、坡-沟系统植被对位配置、立陡边坡植被绿化、退化植被封禁修复等技术构成的植被恢复与构建技术体系；由农林复合经营、草-畜-沼-果经营、粮-饲兼用作物培育与种植等技术构成的生态农业技术体系；由沟头防护、沟道护岸、谷坊以及以拦蓄调节泥沙和建设基本农田为目的的各类淤地坝等技术构成的治理工程技术体系。针对土壤侵蚀过程及径流泥沙携带的污染物质的迁移，形成了由生态清洁型小流域构建、小型水利径流调控技术、湿地水质生物净化、农村社区废弃物处置与利用、农村环境整治与山水林田路立体绿化技术在内的环境综合整治技术。土壤风蚀阻控发展了以修建防风林、退耕还草、水利设施配套等小流域综合治理模式，建立了一批不同土壤侵蚀类型区的综合治理试点小流域。

（3）区域协调管理（21世纪初至今）。随着我国经济社会的发展和综合国力的增强，国家对生态建设的重视程度不断提升，明确将生态文明建设列为全面建设小康社会的重要目标。土壤侵蚀治理与节约资源和环境保护的空间格局、产业结构、生产方式和生活方式相协调。国家全面加大对生态治理与保护的投入，先后实施了退耕还林、退牧还草、风沙防护林建设、生态移民、水土流失重点治理工程及坡耕地治理工程等一大批区域生态建设项目，不断扩大土壤侵蚀区治理的范围与规模。这些项目实施中强调水土流失防治与民生改善、资源开发与生态保护的协调，形成了地表径流调控、土壤肥力提升、植被可持续恢复、水土资源协调和景观结构优化为一体的治理技术体系，发展区域特色生态产业，形成兼顾生态功能提升与民生改善的区域水土流失综合治理模式与管理体系，保障了区域社会经济可持续发展。

## 3 展望

### 3.1 存在的主要问题

（1）在侵蚀过程与机理方面。我国土壤侵蚀类型的多样性、侵蚀过程的复杂性、人类活动影响的高强度性皆为世界之最，导致我国复杂侵蚀环境下土壤侵蚀过

程及相应机制尚不明晰，基础理论仍显薄弱。目前土壤侵蚀过程描述趋向对植被截留、土壤入渗、地表产流、侵蚀输沙、搬运沉积等过程的物理定量表达。然而，技术手段限制导致薄层水流流速、流量等难以准确测定，水分入渗、蒸散等难以适时确定；坡面薄层流动力过程解析仍主要沿用河流泥沙运动学和明渠水力学等邻近学科的理论方法；风沙两相流传输主要依赖经典力学和流体力学在模拟环境下解释。由此造成学科理论体系不完善，制约了本学科的发展。同时，由于降雨过程的随机性、景观要素的空间变异及其格局的复杂性，导致异质景观流域的物流和能流复杂多变[18]。坡面侵蚀与流域产沙的关系，以及景观要素对流域侵蚀产沙的作用不是简单的线性叠加，而是具有高度非线性的复杂系统[31]。但是，流域景观异质性引起的坡面侵蚀与流域产沙间非线性变化规律和作用机制并不清楚。传统的流域侵蚀产沙研究往往用概化方法来处理坡面侵蚀与流域产沙的关系，将流域划分为坡面和沟道分别进行探讨，且处理中多数采用线性水沙汇集的传递条件。“坡面+沟道”描述的流域侵蚀产沙，不能系统地反映坡面侵蚀与流域产沙的耦合机制，科学研究与生产实践结合不够紧密[32]。

（2）*在水土保持措施防蚀机理方面。*我国治理土壤侵蚀历史悠久，水土保持措施丰富多样；然而，水土保持措施防蚀理论研究却一直滞后于水土保持实践，难以满足指导生态环境整治的需求[33]。水土保持措施主要包括生物、工程和耕作措施。植被是最常用的水土保持生物措施，植被既能拦截降雨，减少降雨侵蚀力；也能改善土壤结构，增强土壤抗蚀性。但以往研究多关注于植被的地上部分，植被地下部分作为控制土壤侵蚀的重要因素，由于具有隐蔽性，其作用机理仍不明确；植被重建过程中物种的选择和配置，及其分布格局是影响防蚀效果的关键，但该方面一直是研究的难点[34]。同时，水保措施防蚀效果还具有时空差异性，但此方面尚缺乏系统的研究，如梯田、谷坊和拦沙坝等的防蚀效果随降雨强度、立地条件以及时间的变化规律仍不清楚。系统分析总结各地区水土保持措施，阐明各措施的防治机理，是进行水土保持措施设计和实施的理论基础。

### 3.2 建议与对策

（1）*加强各类型土壤侵蚀多样性机理研究。*土壤侵蚀发生在地表各圈层相互作用最为强烈的地区，几乎受到气象、水文、生物、地形地貌、土壤本身等所有自然因素的作用，且受到各种人类活动的干扰，多种因素综合影响使土壤侵蚀在时空过程与分布上极其复杂。另外，我国地域辽阔，各地自然与人文背景差异巨大，造成侵蚀特征各异，增加了土壤侵蚀规律认识的难度，进而影响水土保持措施的优化布局。进一步加强土壤侵蚀过程与机理的研究，是有效治理土壤侵蚀的关键。研究重点主要包括：基于含沙水流的水动力学关键参数与临界条件，侵蚀形态发生演变过程数值模拟；风沙流动力学特征及沙粒运动过程与机制，重力侵蚀与泥石流发生的力学机制与发生条件，高海拔寒区融水土壤侵蚀机理与过程模拟；水力-风力、水力-冻融、水力-重力等多重外力复合侵蚀过程与模拟；我国东北漫岗丘陵地区的长缓坡、西北黄土高原地区的陡坡、长江中上游山区的深切峡谷、西南喀斯特区的岩溶地貌等特殊环境下侵蚀过程与机制；流域侵蚀产沙对景观要素及其时空格局的响应；侵蚀泥沙输移过程及水沙汇集传递关系；坡面侵蚀与流域产沙间非线性作用机制等。

（2）*从综合治理转向生态调控，以提升生态功能为主。*经过大规模的生态工程实施，我国土壤侵蚀治理已取得显著成效，治理重心从遏制面积扩张转向生态功能提升为主，因此治理范式应从综合治理转向生态调控。综合治理主要基于区域的经济因素，兼顾社会和生态效益，侧重于各类措施直接对土壤侵蚀本身进行调节和控制；生态调控主要以生态系统功能与生态安全为前提，强调长期和整体的生态系统服务功能，侧重于通过措施来加强生态系统本身的健康程度，改变生态系统的物质、能量和信息流的关系。“综合治理”是“生态调控”的基础和手段，“生态调控”则是“综合治理”的

继承和发展。土壤侵蚀生态调控围绕生态系统整体性，以生态系统功能和服务为出发点，使用包括综合治理在内的多种管理和治理技术，对侵蚀泥沙的功能流进行合理调节和控制，变对抗为利用，变控制为调节，将土壤侵蚀防治与其他高效农业技术融为一体。通过综合、优化、设计，结合上行效应（bottom to up）和下行效应（top to down）的策略，从整体上对土壤侵蚀进行调控，以达到土壤侵蚀治理的真正目的——农业生产的高效和环境的可持续。

## 参考文献


1 Morgan R P C. Soil Erosion & Conservation. 3rd Ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

2 Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, 2004, 304(5677): 1623-1627.

3 王礼先. 水土保持学. 北京: 中国林业出版社, 1995.

4 蔡强国, 朱阿兴, 毕华兴, 等. 中国主要水蚀区水土流失综合调控与治理范式. 北京: 科学出版社, 2010.

5 刘国彬, 王兵, 卫伟, 等. 黄土高原水土流失综合治理技术及示范. 生态学报, 2016, 36(22): 7074-7077.

6 Ellison W D. Soil erosion studies-Part I. Agricultural Engineering, 1947, 28: 131-136.

7 Meyer L D, Wischmeier W H. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. Transactions of the ASAE, 1969, 12(6): 754-0758.

8 Nearing M A, Foster G R, Lane L J, et al. A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. Transactions of the ASAE, 1989, 32(5): 1587-1593.

9 Rose C W, Williams J R, Sander G C, et al. A mathematical model of soil erosion and deposition processes: I. Theory for a plane land element. Soil Science Society of America Journal, 1983, 47(5): 991-995.

10 Kinnell P I A. The mechanics of raindrop induced flow transport. Soil Research, 1990, 28(4): 497-516.

11 Zhang G H, Liu B Y, Nearing M A, et al. Soil detachment by shallow flow. Transactions of the ASAE, 2002, 45(2): 351-357.

12 Wang L, Shi Z H, Wang J, et al. Rainfall kinetic energy controlling erosion processes and sediment sorting on steep hillslopes: a case study of clay loam soil from the Loess Plateau, China. Journal of Hydrology, 2014, 512: 168-176.

13 Niehoff D, Fritsch U, Bronstert A. Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany. Journal of Hydrology, 2002, 267(1): 80-93.

14 Wei W, Chen L, Fu B, et al. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. Journal of Hydrology, 2007, 335(3): 247-258.

15 de Vente J, Verduyn R, Verstraeten G, et al. Factors controlling sediment yield at the catchment scale in NW Mediterranean geoecosystems. Journal of Soils and Sediments, 2011, 11(4): 690-707.

16 Shi Z H, Ai L, Li X, et al. Partial least-squares regression for linking land-cover patterns to soil erosion and sediment yield in watersheds. Journal of Hydrology, 2013, 498: 165-176.

17 史志华，宋长青. 土壤水蚀过程研究回顾. 水土保持学报, 2016, 30(5): 1-10.

18 傅伯杰, 徐延达, 吕一河. 景观格局与水土流失的尺度特征与耦合方法. 地球科学进展, 2010, 25(7): 673-681.

19 Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. In: Agricultural Handbook. Washington D C: US Government Print Office, 1965.

20 Liu B Y, Zhang K L, Xie Y. An empirical soil loss equation. Proceedings 12th International Soil Conservation Organization Conference. Vol. III. Beijing: Tsinghua University Press, 2002, 2: 15.

21 Williams J R. EPIC: The Erosion-productivity Impact Calculator, Vol 1. Model Documentation. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture.1989. http://epicapex.

tamu.edu/files/2015/05/EpicModelDocumentation.pdf

22 Flanagan D C, Nearing M A. USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope profile and watershed model documentation. NSERL Report, 1995. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/50701000/cswq-0388-alberts.pdf.

23 Arnold J G, Srinivasan R, Muttiah R S, et al. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. Journal of the American Water Resources Association, 1998, 34(1): 73-89.

24 Walling D E. The sediment delivery problem. Journal of Hydrology, 1983, 65(1-3): 209-237.

25 Glymph L M. Water erosion problems and control on non-irrigated agricultural lands. Eos, Transactions American Geophysical Union, 1954, 35(2): 246-252.

26 Castellini M, Ventrella D. Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy. Soil and Tillage Research, 2012, 124: 47-56.

27 Hannah L, Roehrdanz P R, Ikegami M, et al. Climate change, wine, and conservation. PNAS, 2013, 110(17): 6907-6912.

28 水利部, 中国科学院, 中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全：水土流失数据卷. 北京: 科学出版社, 2010.

29 刘震. 水土保持60年: 成就、经验、发展对策. 中国水土保持科学, 2009, 7(4): 1-6.

30 朱显谟. 黄土高原的形成与整治对策. 水土保持通报, 1991, 11(1): 1-8.

31 Syvitski J P M, Vörösmarty C J, Kettner A J, et al. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. Science, 2005, 308(5720): 376-380.

32 Parsons A J, Wainwright J, Brazier R E, et al. Is sediment delivery a fallacy? Earth Surface Processes and Landforms, 2006, 31(10): 1325-1328.

33 冷疏影, 冯仁国, 李锐, 等. 土壤侵蚀与水土保持科学重点研究领域与问题. 水土保持学报, 2004, 18(1): 1-6.

34 徐宪立, 马克明, 傅伯杰, 等. 植被与水土流失关系研究进展. 生态学报, 2006, 26(9): 3137-3143.



# Soil Erosion: From Comprehensive Control to Ecological Regulation

SHI Zhihua[1,2*] WANG Ling[1] LIU Qianjin[3] ZHANG Hanyu[3] HUANG Xuan[1] FANG Nufang[2]

( 1 Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China;

3 College of Resources and Environment, Linyi University, Linyi 276000, China )

**Abstract** Soil erosion is a major agricultural and environmental threat worldwide, with a negative effect on soil fertility, crop production, water quality, and aquatic ecosystem. Controlling erosion is crucial to sustaining agricultural yields and reducing environmental damages. This paper analyzes the studies on soil erosion processes and its conservation practices, and also reviews China's experience and research progress in past soil and water conservation efforts. Based on the analyses, a proposal is put forward for the prospective studies of erosion mechanisms, a new paradigm of soil conservation, soil water resource management strategies and goals for ecological civilization, designating to provide scientific basis for policies on the national ecological construction.

**Keywords** soil erosion, soil and water conservation, ecological civilization construction

*Corresponding author



**史志华**　华中农业大学教授，中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室固定人员。国家自然科学基金委杰出青年基金获得者，中科院“百人计划”入选者。主要研究领域包括土壤侵蚀机理、流域侵蚀产沙过程模拟和水土保持。主编专著2部，发表SCI论文70余篇。E-mail: pengshi@mail.hzau.edu.cn

**SHI Zhihua**　Professor in Huazhong Agricultural University and Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences (CAS). He is a winner of National Science Fund for Distinguished Young Scholars from the National Natural Science Foundation of China in 2015, and “Hundred Talents Project” of CAS in 2011. His research field includes mechanism of soil erosion, sediment yield at the watershed scale, and soil conservation. He has published more than 70 SCI indexed papers and co-authored 2 books. E-mail: pengshi@mail.hzau.edu.cn